

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА

**Санько Ярослав Володимирович**

УДК 656.025

**ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ  
ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ ТРАМВАЄМ З УРАХУВАННЯМ  
ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА  
(НА ПРИКЛАДІ ХКП “МІСЬКЕЛЕКТРОТРАНС”)**

05.22.01 – транспортні системи

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківській національній академії міського господарства,  
Міністерство освіти і науки України

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, доцент

**Линник Ірина Едуардівна,**

Харківська національна академія міського  
господарства, кафедра містобудування,  
доцент

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, доцент

**Кисельов Володимир Борисович,**

Київський науково-дослідний інститут судових  
експертиз,  
директор

кандидат технічних наук, доцент

**Лановий Олександр Тимофійович,**

Національний транспортний університет,  
кафедра транспортних систем та  
безпеки дорожнього руху,  
професор

Захист дисертації відбудеться “08” жовтня 2010 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.089.03 в Харківській національній академії міського господарства за адресою: 61002, м. Харків, вул. Революції, 12.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківської національної академії міського господарства за адресою: 61002, м. Харків, вул. Революції, 12.

Автореферат розісланий “06” вересня 2010 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Ю.О. Давідіч

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Міський електричний транспорт, зокрема трамвай, що є складовою системи міського пасажирського транспорту (МПТ), в процесі розвитку стикається з проблемою ефективного управління діяльністю галузі. Запорукою ефективного управління МПТ є безперервний процес прогнозування на 20-30 років, проектування на 5-15 років і планування діяльності на 3-5 років. Розробка всієї транспортно-містобудівної документації, а саме генеральний план міста, комплексні схеми розвитку видів МПТ, повинні мати за основу розроблені прогнози обсягів перевезень.

Наявність існуючих методів прогнозування обсягів перевезень пасажирів не дозволяє в повній мірі виконувати довгострокові прогнози, головною проблемою яких є неврахування стану системи пасажирського транспорту та тих соціально-економічних наслідків (стан і кількість транспортних засобів, стан і довжина мережі, стан допоміжного забезпечення та ін.), що характеризують його.

Останнім часом при прогнозуванні параметрів транспортних систем все частіше застосовується метод еволюційно-ймовірнісного моделювання. Аналіз цього методу дозволив виявити недоліки при визначенні ймовірностей переходу з початкового в кінцевий стан параметрів елементів системи, а саме:

- не враховується вплив зовнішнього середовища, коли система знаходиться в замкненому стані;
- не достатньо дослідженим є визначення вагових коефіцієнтів елементів системи та вплив їх змін на еволюцію системи;
- не в повній мірі визначено фактори зовнішнього середовища та відповідні їм функції зміни.

Саме зовнішнє середовище, у розрізі соціально-економічних показників існування суспільства, має істотний вплив на розвиток міського пасажирського транспорту в минулому й майбутньому, що свідчить про актуальність теми та її прикладне значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з виконанням науково-дослідної роботи кафедри транспортних систем і логістики Харківської національної академії міського господарства “Системні засоби з технологічного проектування, організації, логістичної та ергономічної підтримки транспортних процесів міста” (номер державної реєстрації 0107U0000252). Особистий внесок автора дисертації полягає в дослідженні та розкритті основних напрямків довгострокового прогнозування науково-технічного процесу транспорту.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є визначення закономірностей впливу зовнішнього середовища на прогнозовані обсяги перевезень пасажирів трамваєм.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі було поставлено та вирішено наступні завдання:

- проаналізувати підходи до визначення стану системи в майбутньому;
- проаналізувати існуючі підходи щодо прогнозування обсягів перевезень пасажирів;
- розробити математичну модель визначення ймовірностей переходу параметрів елементів транспортної системи міських пасажирських перевезень з початкового в кінцевий стан у замкненому стані з урахуванням впливу змін у зовнішньому середовищі;
- провести оцінку адекватності моделі;
- дослідити вплив функцій змін зовнішнього середовища та вагових коефіцієнтів елементів системи на обсяги перевезень пасажирів трамваєм;
- виконати прогноз зміни обсягів перевезень пасажирів трамваєм.

*Об'єктом дослідження* є процес трамвайних міських пасажирських перевезень.

*Предметом дослідження* є динаміка обсягу перевезень пасажирів трамваєм.

*Методи дослідження:* системного аналізу при визначенні складових транспортної системи міських пасажирських перевезень та факторів зовнішнього середовища; еволюційно-ймовірнісного моделювання при визначенні етапів еволюції системи та тривалості періодів замкненого і розімкненого станів; математичної статистики при визначенні впливу факторів зовнішнього середовища на стан і параметри системи, оцінки адекватності розроблених моделей та визначенні коефіцієнтів приросту параметрів, що розглядаються; експертних оцінок при визначенні вкладу кожного елемента у розвиток системи в цілому; математичного моделювання при визначенні впливу вагових коефіцієнтів елементів системи на її стан і параметри.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- удосконалено метод еволюційно-ймовірнісного моделювання, що враховує вплив зовнішнього середовища при довгостроковому прогнозуванні обсягів перевезень пасажирів трамваєм;
- на відміну від існуючих методів довгострокового прогнозування, набули подальшого розвитку підходи до визначення вагових коефіцієнтів елементів системи.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що удосконалений алгоритм довгострокового прогнозування обсягів перевезень пасажирів трамваєм може бути використаний при розробці комплексних схем транспорту та транспортної частини генерального плану міст.

Результати дослідження та розробки використані в навчальному процесі в Харківській національній академії міського господарства при підготовці спеціалістів за напрямом „Транспортні технології”.

Впровадження запропонованих результатів на підприємствах ХКП «Міськелектротранс», НВФ «Градінвест, ЛТД» ТОВ при визначенні обсягів перевезень пасажирів дозволило корегувати тенденції розвитку транспортних систем в замкненому та розімкненому станах.

**Особистий внесок здобувача** полягає у виборі основних методичних підходів до експериментальних досліджень та обробки результатів. Автору належать всі наукові результати, що виносяться на захист. У публікаціях із співавторами особистий внесок автора складає: аналіз методів прогнозування характеристик транспортних систем і строків кожного методу [1], визначення факторів зовнішнього середовища [2], визначення впливу зовнішнього середовища на функціонування технічних систем в замкненому стані [6].

**Апробація результатів дисертації.** Результати наукових розробок, отримані при виконанні дисертаційної роботи, доповідалися на:

- 69-й міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, 2007 р.);
- 70-й міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, 2008 р.);
- II международной научно-практической конференции “Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании” (м. Дніпропетровськ, 2008 р.);
- VI международной научно-практической интернет-конференции “Устойчивое развитие городов. Управление проектами и программами городского и регионального развития” (м. Харків, 2008 р.);
- міжнародній науково-практичній конференції “Логістичні проблеми управління транспортним комплексом” (м. Донецьк, 2009р.);
- XII международной научно-технической конференции „Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы” (м. Севастополь, 2009 р.);
- міжнародній науково-практичній конференції “Сталий розвиток міст. Електричний транспорт – перспективи розвитку та кадрове забезпечення” (м. Харків, 2009 р.).

**Публікації.** Основні теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи опубліковано в 6 наукових статтях у фахових виданнях, що входять до переліку ВАК України, та 3 тезах доповідей на наукових конференціях.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 150 сторінок. Робота містить 39 рисунків, 19 таблиць, 5 додатків і список використаних джерел із 123 найменувань.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної теми. Визначені мета, завдання, методи дослідження, наукова новизна й практичне значення отриманих результатів та можливі напрямки їх впровадження.

**У першому розділі** розглянуто аналіз сучасних підходів до визначення стану системи при її розвитку в минулому й майбутньому. Проаналізовано випадки взаємодії середовища й системи та відповідні їм закони розподілу ймовірностей. Визначено принципи та умови самоорганізації технічних систем. Проведено аналіз етапів розвитку міського пасажирського транспорту в різних країнах світу.

Аналіз методів прогнозування обсягів перевезень показав, що найбільш часто використовуються методи екстраполяції, кореляційний та регресійний аналіз. При цьому недостатньо враховано взаємозв'язок між елементами системи та стан системи в минулому й майбутньому.

Одним із методів прогнозування параметрів транспортних систем, що заснований на взаємозв'язку та взаємообумовленості елементів системи є еволюційно-ймовірнісне моделювання. Аналіз цього методу дозволив виявити недоліки при визначенні ймовірностей переходу з початкового в кінцевий стан параметрів елементів системи, а саме: не враховується вплив зовнішнього середовища, коли система знаходиться в замкненому стані; не достатньо дослідженим є визначення вагових коефіцієнтів елементів системи та вплив зміни останніх на еволюцію системи; не в повній мірі визначені фактори зовнішнього середовища та відповідні їм функції зміни.

Значну допомогу при визначенні вихідної позиції автору надали наукові фундаментальні праці Г.С. Альтшуллера, Ю.Г. Антамонова, І.С. Єфремова, Е.В. Гаврилова, Г.А. Голіцина, Г.А. Гольца, В.Б. Кисельова, М.Д. Кондратьєва, О.Т. Ланового та інших вчених.

**У другому розділі** роботи було визначено динаміку обсягів перевезень трамваєм у м. Харкові з 1882 по 2006 рр. (рис. 1) та, використовуючи прогнозну екстраполяцію, проведено порівняльну оцінку математичних моделей тренду при прогнозуванні обсягів перевезень. В

результаті було з'ясовано, що усі розглянуті моделі недостатньо адекватно описують фактичні дані, тому не можуть застосовуватися при прогнозуванні.

Використовуючи методику довгострокового прогнозування за еволюційно-ймовірнісним методом і динаміку обсягів перевезень трамваєм у м. Харкові з 1882 по 2006 рр. (рис. 1), було визначено етапи еволюції системи і тривалості періодів замкнутого й розімкнутого станів (табл. 1).

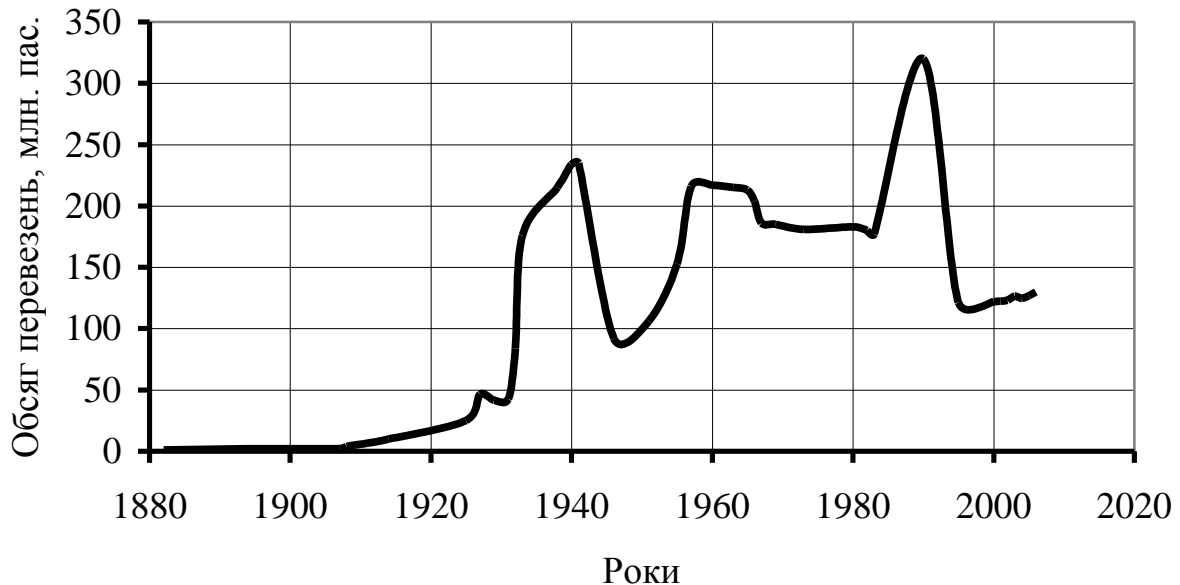


Рис. 1. Динаміка обсягу перевезень трамваєм у м. Харкові з 1882 до 2006 рр.

Таблиця 1

**Послідовність періодів замкнутого та розімкнутого станів  
в еволюції обсягів перевезень трамваєм у місті Харкові**

Етап еволюції	Стан системи (тривалість періоду, роки)	
	замкнений	розімкнений
I	1882-1894 рр. (12)	1894-1907 рр. (12)
II	1907-1927 рр. (20)	1927-1931 рр.* (4*)
	1931-1941 рр. (10)	1941-1952 рр.* (11*)
	1952-1957 рр. (5)	1957-1965 рр. (8)
	1965 р. - середина 1968 р. (2,5)	середина 1968 р. - середина 1984 р. (16)

\* - з урахуванням збоїв (1927-1929 рр. (2) та 1941-1948 рр. (7))

Тривалість періодів замкненого стану в межах кожного етапу еволюції системи зменшується, а тривалість періодів розімкненого стану збільшується відповідно до геометричної прогресії

$$t_{n+1}^3 = \frac{t_n^3}{2}, \quad (1)$$

$$t_{n+1}^p = t_n^p \cdot 2, \quad (2)$$

де  $t_n^3, t_{n+1}^3$  – тривалість періоду стійкого росту обсягу перевезень (замкнений стан), роки;

$t_n^p, t_{n+1}^p$  – тривалість періоду стабілізації обсягу перевезень (розімкнений стан), роки.

За даними табл. 1 видно, що при  $t_n^3 \rightarrow 0$  та  $t_n^p \rightarrow \infty$  система переходить на інший етап своєї еволюції.

Для оцінки замкнених і розімкнених станів використовується максимальна ентропія параметрів системи, за результатами оцінки якої будується динамічний ряд (ряд розвитку)  $H_{\max} = f \bar{A}$ . Аналіз динамічного ряду максимальної ентропії обсягів перевезень пасажирів трамваем в м. Харкові (рис. 2) дозволив виявити одну нестандартну ситуацію, а саме спад обсягу перевезень у 1990 році, що не супроводжується переходом із замкненого в розімкнений стан (рис. 3, 4). Якщо слідувати логіці методу еволюційно-ймовірнісного моделювання, то в 1990 р. повинна зберігатися тенденція зростання обсягу перевезень до 1994 р. (рис. 3) або перехід в розімкнений стан (рис. 4).

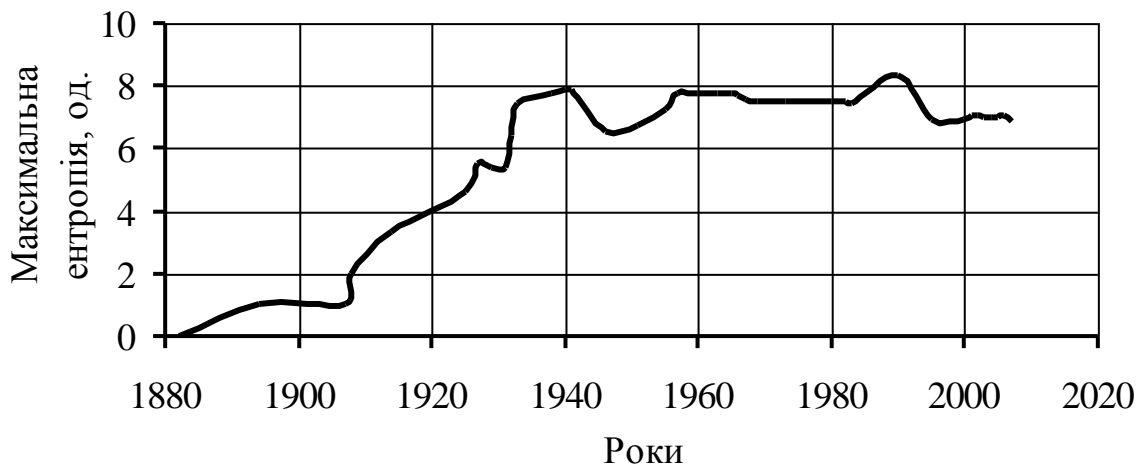


Рис. 2. Динамічний ряд зміни обсягів перевезень трамваем в місті Харкові



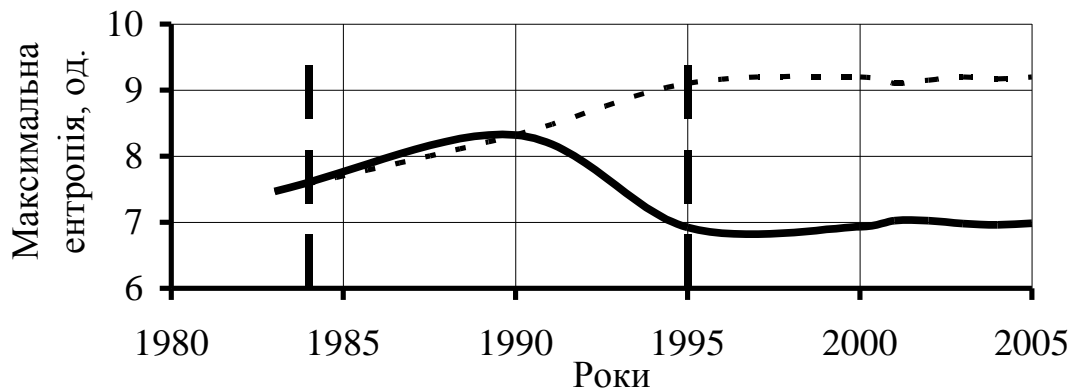


Рис. 3. Динамічний ряд зміни обсягів перевезень трамваєм в місті Харкові при тенденції зростання обсягу перевезень до 1994 р.:

- - максимальна ентропія без впливу зовнішнього середовища в замкненому стані (теоретична);
- - - - область впливу зовнішнього середовища в замкненому стані;
- - фактичні значення максимальної ентропії.

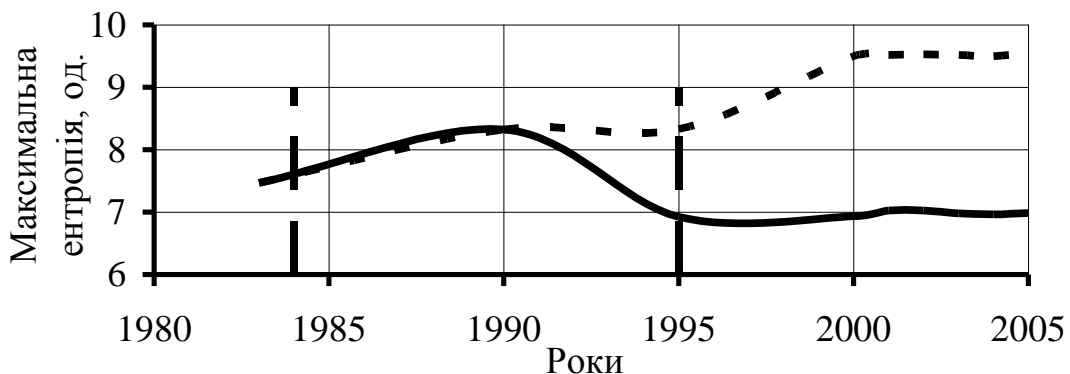


Рис. 4. Динамічний ряд зміни обсягів перевезень трамваєм в місті Харкові при переході в розімкнений стан у 1991 р.:

- - максимальна ентропія без впливу зовнішнього середовища в замкненому стані (теоретична);
- - - - область впливу зовнішнього середовища в замкненому стані;
- - фактичні значення максимальної ентропії.

Маючи інформацію про обсяг перевезень пасажирів трамваєм з 1984 по 1994 рр., було визначено, що система знаходиться в замкненому стані і під впливом зовнішнього середовища спостерігається “стрибок”.

Таким чином, необхідно було визначити фактори зовнішнього середовища для системи міського електричного транспорту. Одним із основних факторів є економічна ситуація в країні. Адже проголошення у вересні 1991 року України як незалежної держави відкрило реальні

перспективи для переходу від командно-адміністративних методів господарювання до радикальних змін всієї сукупності виробничих відносин.

В результаті досліджень було виявлено досить тісний зв'язок між обсягами перевезень пасажирів трамваєм і валовим внутрішнім продуктом (ВВП), що дозволяє його використовувати в якості показника, який характеризує зовнішнє середовище. При зростанні валового внутрішнього продукту обсяг перевезень збільшується, і навпаки. Таким чином, можна стверджувати, що валовий внутрішній продукт є головним фактором зовнішнього середовища для системи міського електричного транспорту. В подальшому необхідно було визначити функції зміни факторів зовнішнього середовища в часі та їх вплив на обсяг перевезень у минулому й майбутньому.

У **третьому розділі** було визначено функції зміни зовнішнього середовища для системи міського електричного транспорту, де більш глобальним та інтегральним показником, що відображає ефективність функціонування економіки та соціуму, є валовий внутрішній продукт.

Маючи статистичні дані валового внутрішнього продукту, було визначено його зміни та вплив на пасажирські перевезення трамваєм. Але за розглянутий період двічі відбулася зміна національної валюти, передумовою чого було погіршення економіки країни. Тому необхідно було привести валовий внутрішній продукт до стабільної іноземної валюти по курсу або по паритету купівельної здатності.

Однією з таких валют є долари США та визначений курс національних валют. Для відображення розподілу валового внутрішнього продукту на суспільство було розраховано ВВП в доларах США, що припадає на одного мешканця (рис. 5).

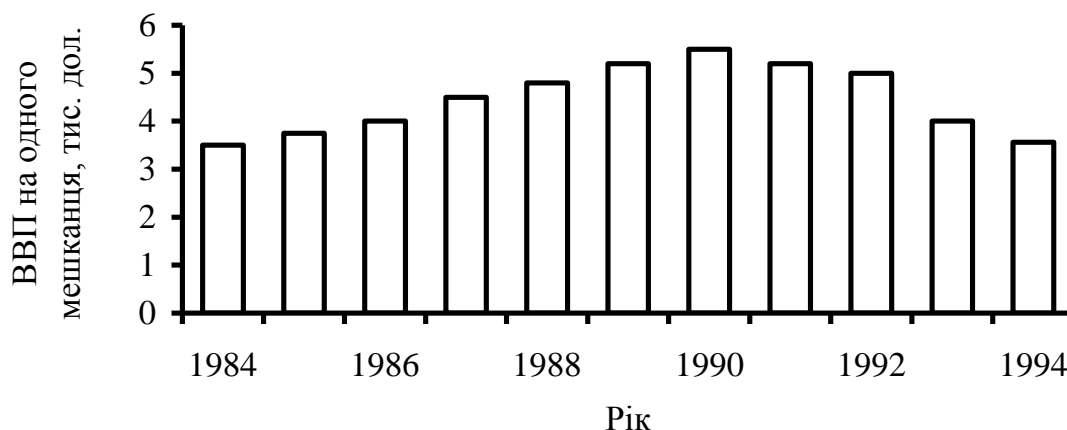


Рис. 5. Розподіл ВВП на одного мешканця в доларах США

В такому випадку ймовірність переходу зовнішнього середовища з фактичного в заданий стан матиме вигляд:

$$P_c^{BPI} = te^{-t}. \quad (3)$$

Тоді зміна ймовірності переходу зовнішнього середовища з фактичного в заданий стан матиме вигляд:

$$\Delta P_c^{BPI} = te^{-t} - 1. \quad (4)$$

Для дослідження впливу зовнішнього середовища на систему «суб'єкт праці (пасажир) – знаряддя праці (підсистема "транспортний засіб – мережа") – предмет праці (транспортний процес перевезення пасажирів)» було розроблено математичну модель визначення ймовірностей переходу параметрів елементів транспортної системи міських пасажирських перевезень з початкового в кінцевий стан, що матиме вигляд:

$$\begin{cases} C_n \frac{d\Delta P_n}{dt} - ((\frac{\partial Q_{сер.н}}{\partial P_{мз}} \Delta P_{мз} + \frac{\partial Q_{сер.н}}{\partial P_м}) - \frac{\partial Q_n}{\partial P_n} \Delta P_n) = \frac{\partial Q_{сер.н}}{\partial P_c} (te^{-t} - 1); \\ C_{мз} \frac{d\Delta P_{мз}}{dt} - ((\frac{\partial Q_{сер.мз}}{\partial P_n} \Delta P_n + \frac{\partial Q_{сер.мз}}{\partial P_м} \Delta P_м) - \frac{\partial Q_{мз}}{\partial P_{мз}} \Delta P_{мз}) = \frac{\partial Q_{сер.мз}}{\partial P_c} (te^{-t} - 1); \\ C_м \frac{d\Delta P_м}{dt} - ((\frac{\partial Q_{сер.м}}{\partial P_n} \Delta P_n + \frac{\partial Q_{сер.м}}{\partial P_{мз}} \Delta P_{мз}) - \frac{\partial Q_м}{\partial P_м} \Delta P_м) = \frac{\partial Q_{сер.м}}{\partial P_c} (te^{-t} - 1), \end{cases} \quad (5)$$

де  $\Delta P_n, \Delta P_{мз}, \Delta P_м, \Delta P_c$  – зміна ймовірностей переходу пасажирів, транспортного засобу, мережі та зовнішнього середовища з початкового в кінцевий стан;

$Q_n, Q_{мз}, Q_м$  – абсолютні організації пасажирів, транспортного засобу й мережі відповідно;

$Q_{сер.н}, Q_{сер.мз}, Q_{сер.м}$  – норми абсолютної організації для пасажирів, транспортного засобу й мережі відповідно;

$C_n, C_{мз}, C_м$  – організаційна ємність пасажирів, транспортного засобу й мережі відповідно.

Визначення частинних похідних в системі (5) пропонується через вагові коефіцієнти елементів системи. Тоді система (5) матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta P_n}{dt} - ((k_{m3}^1 \cdot \Delta P_{m3} + k_{\mathcal{M}}^1) - \Delta P_n) = k_c^1 \cdot (te^{-t} - 1); \\ \frac{d\Delta P_{m3}}{dt} - ((k_n^2 \cdot \Delta P_n + k_{\mathcal{M}}^2 \cdot \Delta P_{\mathcal{M}}) - \Delta P_{m3}) = k_c^2 \cdot (te^{-t} - 1); \\ \frac{d\Delta P_{\mathcal{M}}}{dt} - ((k_n^3 \cdot \Delta P_n + k_{m3}^3) - \Delta P_{\mathcal{M}}) = k_c^3 \cdot (te^{-t} - 1), \end{cases} \quad (6)$$

де  $k_{\mathcal{M}}, k_{m3}, k_c, k_n$  – вагові коефіцієнти пасажирів, транспортного засобу, мережі та зовнішнього середовища відповідно, які пов’язані між собою залежністю

$$\begin{cases} k_{m3}^1 + k_{\mathcal{M}}^1 + k_c^1 = 1; \\ k_n^2 + k_{\mathcal{M}}^2 + k_c^2 = 1; \\ k_n^3 + k_{m3}^3 + k_c^3 = 1. \end{cases} \quad (7)$$

Для рішення системи диференціальних рівнянь (6) було запропоновано застосувати значення вагових коефіцієнтів, визначених у роботах Е.В. Гаврилова, а саме:

$$\begin{cases} k_{m3}^1 = 0,75; k_{\mathcal{M}}^1 = 0,125; k_c^1 = 0,125; \\ k_n^2 = 0,125; k_{\mathcal{M}}^2 = 0,75; k_c^2 = 0,125; \\ k_n^3 = 0,75; k_{m3}^3 = 0,125; k_c^3 = 0,125. \end{cases}$$

У подальшому, використовуючи програмне забезпечення Matlab, в дисертації було розроблено програму для визначення ймовірностей переходу елементів системи з початкового в кінцевий стан. Але отримані рішення при визначенні ймовірностей мали від’ємні значення, що недопустимо з математичної точки зору. Такий результат пояснюється незначними значеннями вагових коефіцієнтів, що присвоюються зовнішньому середовищу. Для цього в подальшому було запропоновано визначити вагові коефіцієнти елементів системи, використовуючи метод експертних оцінок.

На першому етапі було сформовано групу експертів в області транспортних систем (науковці, керівники та ведучі спеціалісти пасажирських транспортних підприємств і спеціалісти департаменту транспорту). Таким чином, загальна кількість експертів становила 15 осіб.

На другому етапі було сформовано анкету для опитування експертів. Результати опитування представлені в табл. 2.

Таблиця 2

## Результати опитування експертів

Експерт	Оцінка експертів у балах								
	оцінка важливості впливу на елемент «пасажир» компонентів системи:			оцінка важливості впливу на елемент «транспортний засіб» компонентів системи:			оцінка важливості впливу на елемент «мережа» компонентів системи:		
	транспортний засіб	мережа	середовище	пасажир	мережа	середовище	пасажир	транспортний засіб	середовище
1	25	15	60	30	20	50	25	10	65
2	25	25	50	25	25	50	20	15	65
3	15	25	60	30	30	40	25	10	65
4	30	25	45	50	20	30	30	10	60
5	25	20	55	45	15	40	40	5	55
6	30	10	60	40	20	40	35	10	55
7	25	25	50	30	20	50	25	10	65
8	30	15	55	35	20	45	30	10	60
9	15	20	65	25	25	50	20	15	65
10	25	25	50	30	15	55	25	15	60
11	25	20	55	40	40	20	35	30	35
12	20	20	60	35	25	40	30	15	55
13	30	20	50	25	25	50	20	15	65
14	40	20	40	40	20	40	35	10	55

15	25	25	50	20	30	50	15	20	65
Сума балів	385	310	805	500	350	650	410	200	890
Узагальнена думка експертів, $M_j$	25,7	20,7	53,6	33,3	23,3	43,4	27,3	13,4	59,3
Дисперсія оцінок, $D_j$	38,81	20,95	44,53	70,24	41,67	84,53	49,53	34,53	63,81
Середнє квадратичне відхилення оцінок, $\sigma_j$	6,23	4,58	6,67	8,38	6,46	9,19	7,04	5,88	7,99
Коефіцієнт варіації, $V_j$	0,24	0,22	0,12	0,25	0,28	0,21	0,26	0,44	0,13

Для наглядності та конкретики завдань опитування експертам було представлено дані про зміни показників елементів транспортної системи міських пасажирських перевезень трамваєм, а саме:

- графік зміни обсягів перевезень трамваєм з 1882 по 2006 роки;
- графік зміни довжини мережі трамваю з 1984 по 1994 роки;
- графік зміни чисельності населення в Україні з 1984 по 1994 роки;
- графік зміни ВВП в доларах США, що припадає на одного мешканця з 1984 по 1994 роки.

Оскільки думки експертів щодо запропонованих питань різняться, було розраховано оціночні показники узгодженості експертів (узагальнена думка експертів по кожному питанню, коефіцієнти варіації та конкордації).

Коефіцієнт конкордації для цієї групи експертів складає  $W = 0,74$ , що свідчить про дуже гарну узгодженість думок експертів.

Визначені таким чином вагові коефіцієнти елементів транспортної системи міських пасажирських перевезень приймають наступні значення:

$$\begin{cases} k_{m3}^1 = 0,26; k_m^1 = 0,20; k_c^1 = 0,54; \\ k_n^2 = 0,33; k_m^2 = 0,23; k_c^2 = 0,44; \\ k_n^3 = 0,27; k_{m3}^3 = 0,13; k_c^3 = 0,60. \end{cases}$$

Для визначення значимості отриманих вагових коефіцієнтів методом експертних оцінок зроблено підстановку їх в систему рівнянь (6), яка матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta P_n}{dt} - ((0,26 \cdot \Delta P_{m3} + 0,20) - \Delta P_n) = 0,54 \cdot (te^{-t} - 1); \\ \frac{d\Delta P_{m3}}{dt} - ((0,33 \cdot \Delta P_n + 0,23 \cdot \Delta P_m) - \Delta P_{m3}) = 0,44 \cdot (te^{-t} - 1); \\ \frac{d\Delta P_m}{dt} - ((0,27 \cdot \Delta P_n + 0,13) - \Delta P_m) = 0,60 \cdot (te^{-t} - 1). \end{cases} \quad (8)$$

Частинне рішення цієї системи матиме вигляд:

$$\begin{cases} P_n(\tau) = -7,04e^{-0,62\tau} - 0,71e^{-1,38\tau} - 0,54\tau + 4,77e^{-\tau} + \\ + 0,008e^{-\tau} \cdot \tau^2 + 0,79\tau e^{-\tau} + 2,97; \\ P_{m3}(\tau) = -10,41e^{-0,61\tau} + 1,04e^{-1,38\tau} - 0,77\tau + \\ + 2,14\tau e^{-\tau} + 5,11e^{-\tau} + 4,25; \\ P_m(\tau) = -7,31e^{-0,62\tau} - 0,74e^{-1,38\tau} - 0,68\tau - 0,011e^{-\tau} \cdot \tau^2 + \\ + 0,78\tau e^{-\tau} + 4,36e^{-\tau} + 3,68. \end{cases} \quad (9)$$

Отримавши таким чином імовірності переходу елементів системи з початкового в кінцевий стан, необхідно перевірити їх при визначенні теоретичних значень обсягів перевезень трамваєм.

Оцінку адекватності отриманих моделей було проведено за показником середньої помилки апроксимації

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i^P - y_i^M}{y_i^M} \right| \cdot 100\% , \quad (10)$$

де  $N$  – кількість спостережень;

$y_i^P, y_i^M$  – відповідно розрахункове та фактичне значення залежної змінної.

Проміжні розрахунки складових залежності (10) виконано табличним способом, а результати наведено в табл. 3 і на рис. 6.

Таблиця 3

**Статистична обробка даних для замкненого стану І періоду ІІІ етапу еволюції (1984-1994 рр.)**

Час $t$ , рік	Безрозмірний час, $\tau$	Обсяг перевезень, млн. пас.		Різниця між теоретичними й фактичними значеннями, $y_i^P - y_i^M$	$\left  \frac{y_i^P - y_i^M}{y_i^M} \right $
		теоретич- ний	фактичний		
0	0	160	160,38	-0,38	0,0024
1	0,5	258,15	201,54	56,61	0,2193
2	1	318,44	240,62	77,82	0,2444
3	1,5	353,03	268,41	84,62	0,2397
4	2	367,23	289,14	78,09	0,2126
5	2,5	363,97	310,7	53,27	0,1464
6	3	345,5	320	25,5	0,0738
7	3,5	313,93	280,24	33,69	0,1073
8	4	271,26	240,48	30,78	0,1135
9	4,5	219,38	199,65	19,73	0,0899
10	5	160	160,96	-0,96	0,006
Сума	–	–	–	–	1,455
Середня помилка апроксимації, $\varepsilon$ , %		14,55			



Для задач транспортної галузі граничне значення складає 15%. Тому значення у 14,55% задовольняє умовам адекватності, що говорить про збіжність теоретичних і фактичних значень.

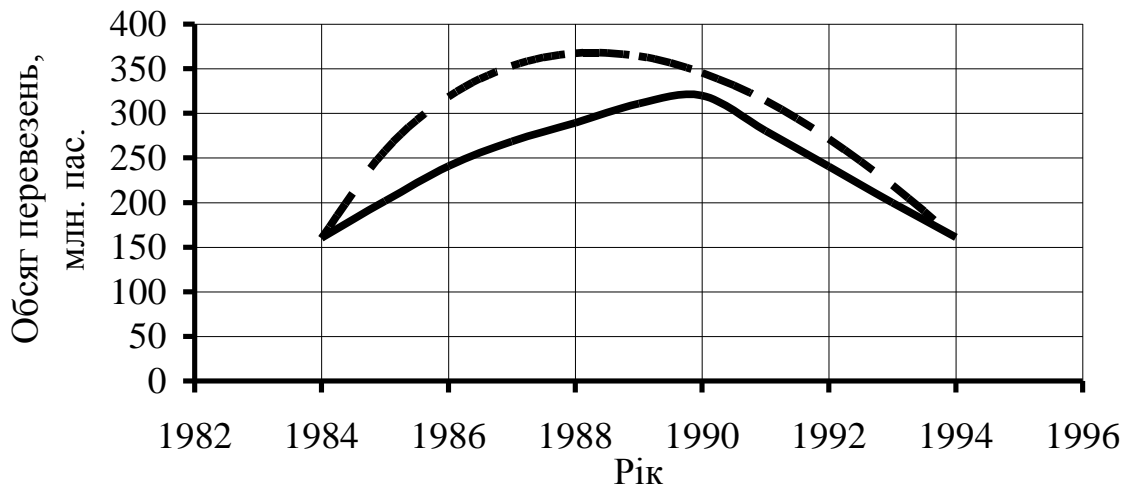


Рис. 6. Графік зміни теоретичних і фактичних обсягів перевезень пасажирів трамваєм у м.

Харкові по роках при 54%-ому впливі зовнішнього середовища:

- - теоретичні значення обсягів перевезень;
- - фактичні значення обсягів перевезень.

В четвертому розділі проведено дослідження впливу зовнішнього середовища на обсяги перевезень пасажирів, де було визначено при запропонованій функції зміни ймовірності переходу зовнішнього середовища з фактичного в заданий стан (4), що адекватні значення ймовірностей переходу елементів системи з початкового в кінцевий стан, з математичної точки зору, належать інтервалу від 40 до 60% впливу зовнішнього середовища. Аналогічні значення були присвоєні експертами при опитуванні (табл. 2).

Для визначення значимості отриманих ймовірностей було проведено оцінку адекватності за показником середньої помилки апроксимації. Результати розрахунків наведено в табл. 4 і на рис. 7.

**Статистична обробка даних при 50%-ому впливі  
зовнішнього середовища**

Час $t$ , рік	Безрозмірний час, $\tau$	Обсяг перевезень, млн. пас.		Різниця між теоретичними й фактичними значеннями, $y_i^P - y_i^M$	$\left  \frac{y_i^P - y_i^M}{y_i^M} \right $
		теоретичні	фактичні		
0	0	160	160,38	-0,38	0,0024
1	0,5	221,92	201,54	20,38	0,0918
2	1	265,56	240,62	24,94	0,0939
3	1,5	294,13	268,41	25,72	0,0874
4	2	308,61	289,14	19,47	0,0631
5	2,5	309,74	310,7	-0,96	0,0031
6	3	298,59	320	-21,41	0,0717
7	3,5	276,51	280,24	-3,73	0,0135
8	4	245,05	240,48	4,57	0,0186
9	4,5	205,73	199,65	6,08	0,0296
10	5	160	160,96	-0,96	0,006
Сума	—	—	—	—	0,481
Середня помилка апроксимації, $\varepsilon$ , %		4,81			

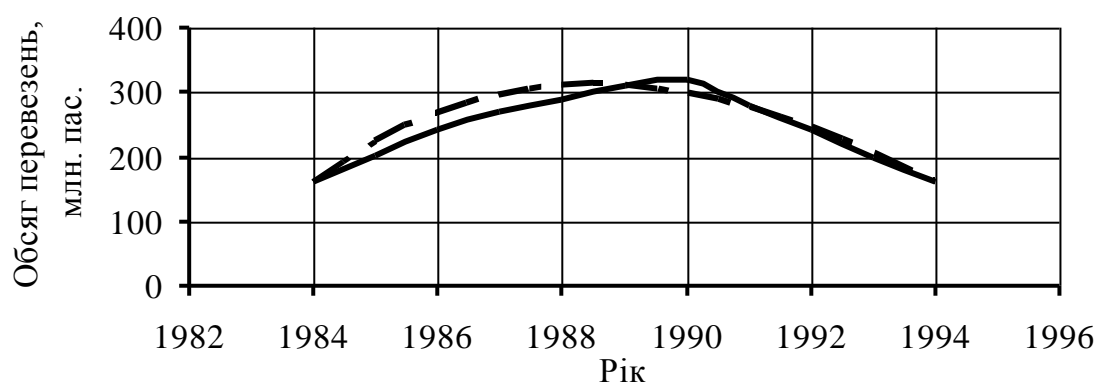


Рис. 7. Графік зміни теоретичних і фактичних обсягів перевезень пасажирів трамваєм у м.

Харкові по роках при 50%-ому впливі зовнішнього середовища:

- — — — — теоретичні значення обсягів перевезень;
- фактичні значення обсягів перевезень.

Відповідно до алгоритму довгострокового прогнозування, за методом еволюційно-ймовірнісного моделювання для визначення значень параметрів елементів системи в майбутньому необхідно в кожному стані визначити початкові та кінцеві точки періоду. Для цього потрібно було визначити коефіцієнти приросту параметру, що розглядається, за залежністю

$$k_{np} = \frac{Q_K}{Q_{\Pi}}, \quad (11)$$

де  $Q_K$ ,  $Q_{\Pi}$  – обсяг перевезень пасажирів в кінцевій та початковій точках розглянутого періоду, млн. пас.

Оскільки розглядається безперервна закономірність (рис. 1), то кожна кінцева точка одного стану є початковою точкою іншого стану. Тому, використовуючи дані обсягів перевезень пасажирів трамваєм в місті Харкові з 1907 по 1984 роки (другий етап еволюції), було визначено коефіцієнти приросту за залежністю (11). Результати розрахунків наведено в табл. 5.

Таблиця 5

**Характеристика коефіцієнтів приросту обсягів перевезень пасажирів трамваєм в місті Харкові з 1907 по 1984 роки**

Періоди еволюції	Значення коефіцієнта приросту, коли система знаходиться в	
	замкненому стані	розімкненому стані
1	11,625	1,024096
2	5,529412	1,009524
3	2,037736	0,986111
4	0,868545	0,956757

За даними табл. 5 побудовано залежності коефіцієнтів приросту обсягів перевезень пасажирів трамваєм від періодів замкненого та розімкненого станів відповідно (рис. 8, 9).

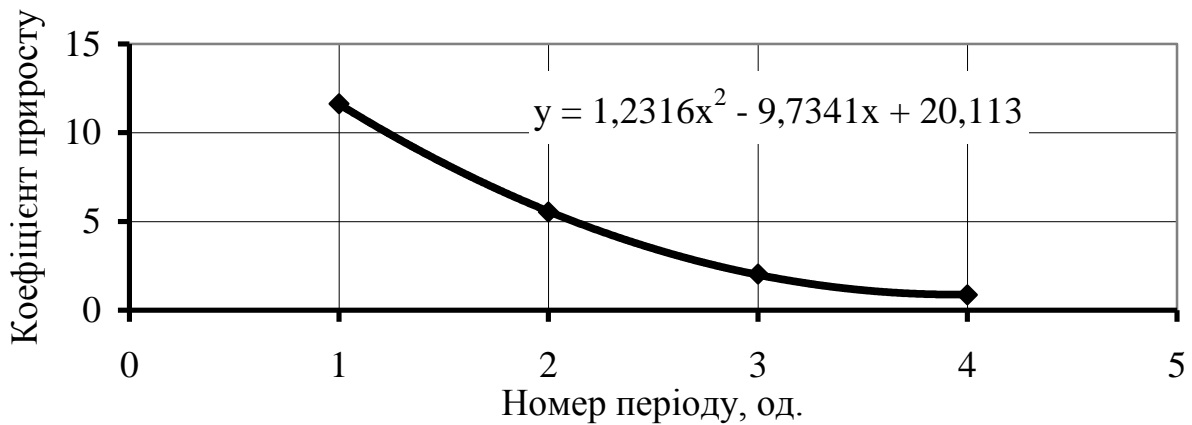


Рис. 8. Залежність коефіцієнта приросту обсягів перевезень від періоду замкнутого стану

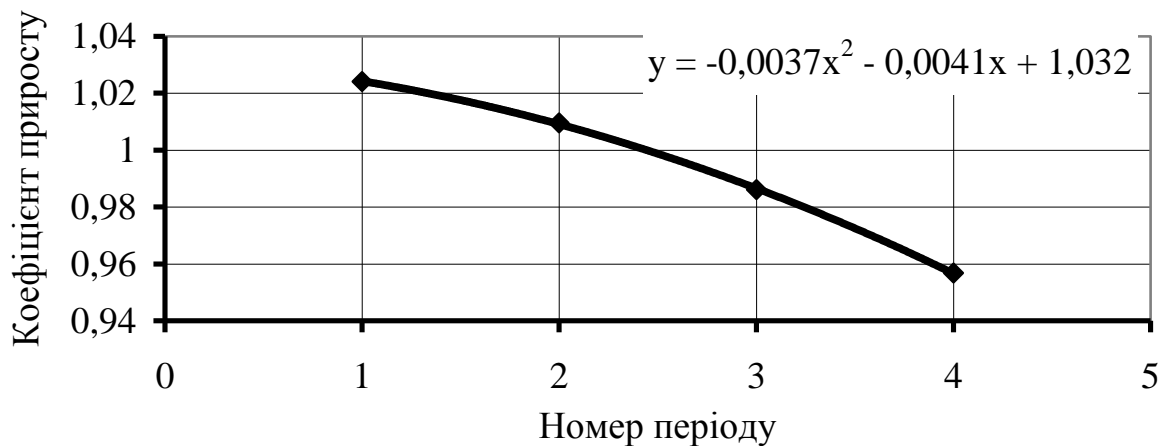


Рис. 9. Залежність коефіцієнта приросту обсягів перевезень від періоду розімкнутого стану

Використовуючи програмне забезпечення MS Excel, було визначено математичні моделі коефіцієнтів приросту для періодів замкнутого й розімкнутого станів:

$$k_{np}^z = 1,2316 \cdot n^2 - 9,7341 \cdot n + 20,113, \quad (12)$$

$$k_{np}^p = -0,0037 \cdot m^2 - 0,0041 \cdot m + 1,032, \quad (13)$$

де  $n$ ,  $m$  – номер періоду замкнутого й розімкнутого станів відповідно.

Відповідно до методики довгострокового прогнозування за еволюційно-ймовірносним методом, було визначено тривалість III етапу еволюції системи та періодів замкнутого й розімкнутого станів, їх тривалості (табл. 6).

**Послідовність періодів замкненого й розімкненого станів  
III етапу еволюції обсягів перевезень трамваєм у місті Харкові**

Етап еволюції	Стан системи (тривалість періоду, роки)	
	замкнений	розімкнений
III	середина 1984 р. – середина 1994 р. (10)	середина 1994 р. – середина 1996 р. (2)
	середина 1996 р. – середина 2001 р. (5)	середина 2001 р. – середина 2005 р. (4)
	середина 2005 р. - 2008 р. (2,5)	2008-2016 рр. (8)
	2016 р. – I кв. 2018 р. (1,25)	I кв. 2018 р. - I кв. 2034 р. (16)

Використовуючи емпіричні формули для оцінки коефіцієнтів приросту обсягів перевезень і тривалості періодів замкненого й розімкненого станів (табл. 6), було виконано прогноз початкових і кінцевих значень характеристик у різні періоди існування системи (табл. 7).

Таблиця 7

**Прогноз початкових і кінцевих значень обсягів перевезень  
у різні періоди існування системи**

Стан системи	Період існування, роки	Коефіцієнт приросту	Початковий обсяг перевезень, млн. пас.	Кінцевий обсяг перевезень, млн. пас.
розімкнений	2008-2016 рр.	0,986	116,2	114,6
замкнений	2016 р. – I кв. 2018 р.	0,868	114,6	99,5
розімкнений	I кв. 2018 р. – I кв. 2034 р.	0,957	99,5	95,2

Прогноз обсягу перевезень пасажирів трамваєм в м. Харкові до 2034 р. наведено на рис. 10.

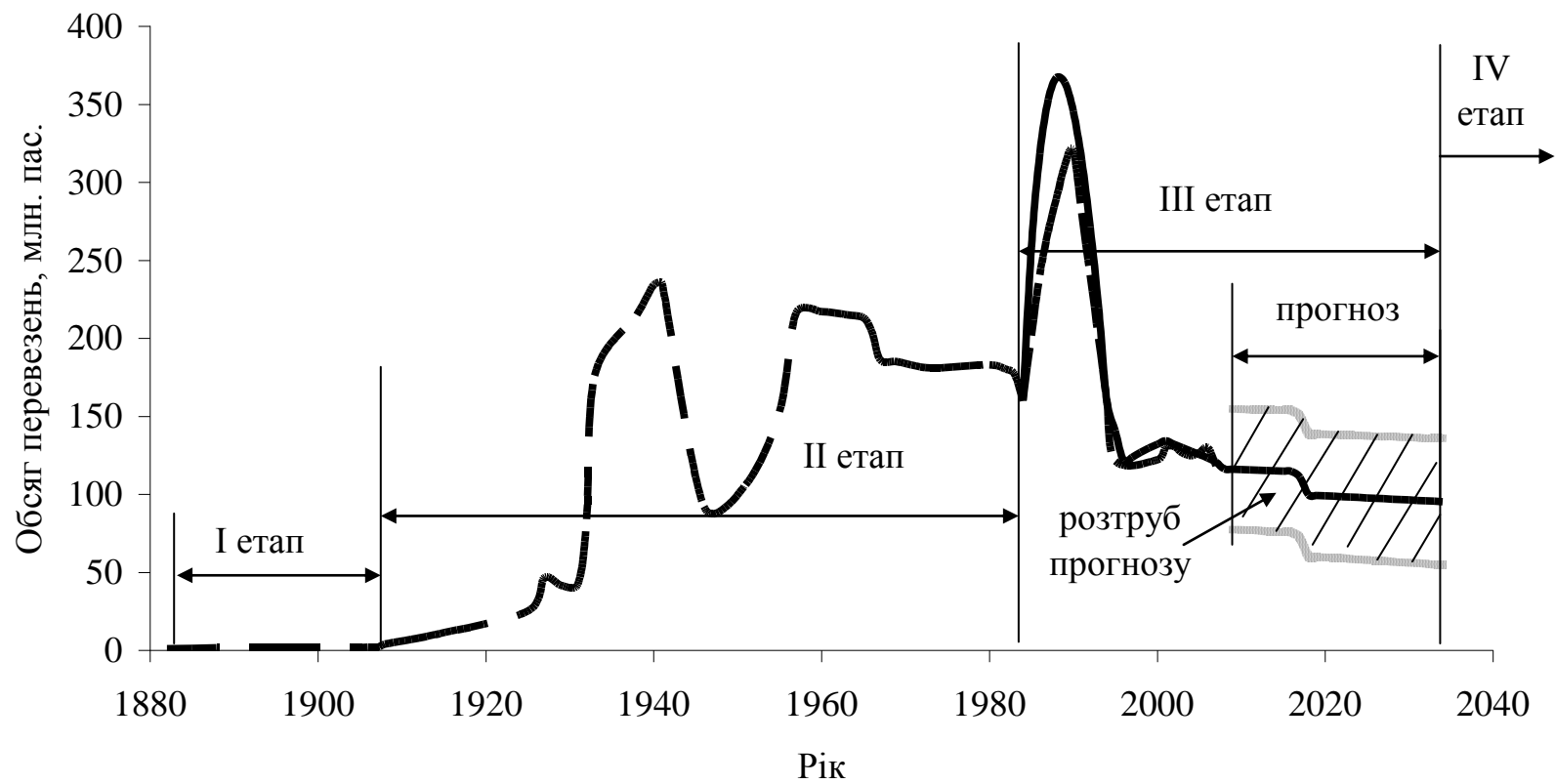


Рис. 10. Прогноз обсягу перевезень пасажирів трамваєм у м. Харкові до 2034 року:

- - теоретичні значення обсягів перевезень;
- - - фактичні значення обсягів перевезень.

При прогнозуванні необхідно також встановити стохастичну випадкову компоненту процесу  $\mathcal{E}(t)$ , що визначає границі довірчого коридору для отриманого тренда. Середнє значення випадкової компоненти процесу з отриманої вибірки для 25 перетинів  $Q = f(t)$  становить  $\bar{\mathcal{E}}(t) = 35,76$  млн. пас.

Довірчий коридор розкиду середнього зваженого значення обсягів перевезень пасажирів для періоду прогнозу, що відповідає довірчій ймовірності  $P_d = 0,95$ , наведено в табл. 8.

Таблиця 8

**Довірчий коридор прогнозу обсягів перевезень пасажирів  
трамваєм у м. Харкові**

Часовий інтервал, роки	Період упередження, $T$	Число перетинів попереднього періоду, $N$	Половина довірчого інтервалу прогнозу, $\mathcal{E}_{\text{прогн}}$
2007-2012	1	25	38,677
2012-2017	2	25	39,02
2017-2022	3	25	39,383
2022-2027	4	25	39,768
2027-2032	5	25	40,174
2032-2037	6	25	40,6

Верхня границя довірчого коридору може розглядатися як оптимістичний прогноз обсягів перевезень пасажирів, а нижня – як песимістичний прогноз.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз методів прогнозування обсягів перевезень у майбутньому показав, що більшість з них не дозволяє в повній мірі адекватно оцінити цей показник на середньо- та довгострокову перспективу.

2. При визначенні максимальної ентропії для замкненого стану в першому періоді III етапу розвитку міського електричного трамваю з'ясувалося різке зниження останньої, що пояснюється впливом зовнішнього середовища (перехід країни до ринкових умов). Запропонований раніше метод еволюційно-ймовірнісного моделювання не враховує вплив зовнішнього середовища замкненого стану системи міського електричного трамваю, що не дозволяє використовувати його при змінному середовищі.

3. Проведені дослідження щодо визначення функцій змін зовнішнього середовища для міського електричного трамваю в місті Харкові дозволили виявити, що основним показником є валовий внутрішній продукт, що припадає на одного мешканця.

4. Запропонована математична модель визначення ймовірностей переходу параметрів елементів системи «суб'єкт праці (пасажир) – знаряддя праці (підсистема "транспортний засіб – мережа") – предмет праці (транспортний процес перевезення пасажирів)» для транспортної системи міських пасажирських перевезень з початкового в кінцевий стан дозволила встановити загальні закономірності впливу змін зовнішнього середовища на ці ймовірності в замкнутому стані.

5. Запропонований метод експертних оцінок, як підхід до визначення вагових коефіцієнтів, дозволив отримати адекватні значення ймовірностей переходу елементів системи з початкового в кінцевий стан.

6. При перевірці адекватності розробленої моделі експериментальним даним було отримано розрахункове значення середньої помилки апроксимації 14,55%, що свідчить про те, що вона може розглядатися як теоретичне представлення випробувань.

7. Проведені дослідження дозволяють виявити закономірності ймовірностей переходу параметрів елементів транспортної системи міських пасажирських перевезень з початкового в кінцевий стан в замкнутому стані при різних співвідношеннях вагових коефіцієнтів елементів системи.

8. Запропонований підхід до врахування закономірностей впливу змін зовнішнього середовища на еволюційні процеси дозволяє корегувати тенденції розвитку трамвайних міських пасажирських перевезень відповідно в замкнутому й розімкнутому станах.

9. Виконано прогноз обсягу перевезень пасажирів трамваєм у місті Харкові до 2034 року та побудовано розтруб прогнозу, де верхня границя довірчого коридору може розглядатися як оптимістичний прогноз обсягів перевезень пасажирів, а нижня – як песимістичний прогноз.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Санько Я.В., Григоров М.А. К прогнозированию параметров элементов транспортных систем / Я.В. Санько, М.А. Григоров // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 4/2(28). – С. 54-56.

2. Григоров М.А., Санько Я.В. Прогнозування станів параметрів транспортних систем, з урахуванням еволюційних процесів / М.А. Григоров, Я.В. Санько // Вісник



Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 25. – С. 140-141.

3. Санько Я.В. Динаміка ентропійних характеристик транспортних систем / Я.В. Санько // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 5/3(35). – С. 9-10.

4. Санько Я.В. Визначення етапів еволюції міського електричного транспорту / Я.В. Санько // Коммунальное хозяйство городов. – 2008. – Вип. 84. – С. 343-346.

5. Санько Я.В. До прогнозування розвитку міського електричного транспорту / Я.В. Санько // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 1/6(37). – С. 23-26.

6. Линник І.Е., Санько Я.В. Визначення впливу зовнішнього середовища на функціонування технічних систем в замкненому стані / І.Е. Линник, Я.В. Санько // Проблеми транспорту. – 2009. – Вип. 6. – С. 209-212.

7. Санько Я.В., Григоров М.А. К определению энтропийных характеристик систем / Я.В. Санько, М.А. Григоров // Устойчивое развитие городов. Управление проектами и программами городского и регионального развития: материалы VI международной научно-практической интернет-конференции. – Х. : Харк. нац. акад. гор. хоз-ва, 2008. – С. 260-261.

8. Санько Я.В. Аналіз факторів зовнішнього середовища, які впливають на стан системи / Я.В. Санько // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании: тезисы II международной научно-практической конференции. – Д. : Днепр. нац. ун-т ж/д тр-та им. акад. В. Лазаряна, 2008. – С. 66-67.

9. Санько Я.В. Функціонування технічних систем в замкненому стані / Я.В. Санько // Сталий розвиток міст. Електричний транспорт – перспективи розвитку та кадрове забезпечення: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Х. : Харк. нац. акад. міського госп-ва, 2009. – С. 69-70.

## АНОТАЦІЯ

**Санько Я.В. Довгострокове прогнозування обсягів перевезень пасажирів трамваєм з урахуванням впливу зовнішнього середовища (на прикладі ХКП “Міськелектротранс”). – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. – Харківська національна академія міського господарства, Харків, 2010.

Дисертація присвячена розробці наукових положень щодо визначення закономірностей впливу зовнішнього середовища на прогнозовані обсяги перевезень пасажирів трамваєм. Для цього в ній:

- проаналізовано наукові підходи до визначення стану системи в майбутньому та прогнозування обсягів перевезень пасажирів;
- розроблено математичну модель визначення ймовірностей переходу параметрів елементів транспортної системи міських пасажирських перевезень з початкового в кінцевий стан у замкненому стані з урахуванням впливу змін у зовнішньому середовищі та проведено оцінку адекватності моделі;
- на основі методу експертних оцінок визначено вагові коефіцієнти елементів системи, що дозволило отримати адекватні значення ймовірностей переходу параметрів елементів транспортної системи міських пасажирських перевезень з початкового в кінцевий стан;
- досліджено вплив функцій змін зовнішнього середовища та вагових коефіцієнтів елементів системи на обсяги перевезень пасажирів трамваєм;
- розроблено прогноз зміни обсягів перевезень пасажирів трамваєм.

**Ключові слова:** метод еволюційно-ймовірнісного моделювання, довгострокове прогнозування, стан системи, обсяг перевезень, зовнішнє середовище, ймовірності переходу елементів системи, вагові коефіцієнти.

## АННОТАЦИЯ

**Санько Я.В. Долгосрочное прогнозирование объемов перевозок пассажиров трамваем с учетом влияния внешней среды (на примере ХКП "Горэлектротранс"). – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. – Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков, 2010.

Диссертация посвящена разработке научных положений относительно определения влияния внешней среды на прогнозируемые объемы перевозок пассажиров трамваем. Выполненный анализ методов прогнозирования объемов перевозок показал, что наиболее часто используются методы экстраполяции, корреляционным и регрессионным анализом, при этом недостаточно учитывается взаимное влияние элементов системы, а также состояние системы.

Определены этапы эволюции системы и периоды замкнутого и разомкнутого состояний и их продолжительности. Установлено, что продолжительность периодов замкнутого состояния в пределах каждого этапа эволюции системы уменьшается, а продолжительность периодов разомкнутого состояния увеличивается соответственно геометрической прогрессии. Также определены факторы внешней среды для системы городского электрического транспорта.

В результате исследований было выявлено довольно тесную связь между объемами перевозок пассажиров трамваем и валовым внутренним продуктом, что позволило использовать его в качестве показателя, который характеризует внешнюю среду. При росте валового внутреннего продукта объем перевозок увеличивается, и наоборот. Таким образом, выяснилось, что валовой внутренний продукт является главным фактором внешней среды для системы городского электрического транспорта.

Предложенная математическая модель определения вероятностей перехода элементов транспортной системы городского пассажирского транспорта из начального в конечное состояние позволила учесть функцию изменения внешней среды в замкнутом состоянии, что дало возможность получить адекватные значения объемов перевозок пассажиров трамваем.

Предложенный метод экспертных оценок для определения оценки вклада каждого элемента в развитие системы, позволил сделать вывод о том, что разный вес элемента приводит к изменению тенденции развития системы в целом.

В ходе исследования влияния внешней среды на объемы перевозок пассажиров было обнаружено, что адекватные значения вероятностей перехода элементов системы из начального в конечное состояние, с математической точки зрения, принадлежат интервалу от 40 до 60% влияния внешней среды. Аналогичные значения были присвоены экспертами при опросе.

Полученные закономерности изменения функции влияния внешней среды на прогнозируемые параметры системы позволили выполнить долгосрочный прогноз объемов перевозок пассажиров трамваем в г. Харькове до 2034 года.

Построенный доверительный коридор позволил установить верхнюю и нижнюю границы прогноза объемов перевозок пассажиров трамваем. Где верхняя граница доверительного коридора может рассматриваться как оптимистичный прогноз объемов перевозок пассажиров трамваем, а нижняя - как пессимистический прогноз.

**Ключевые слова:** метод эволюционно-вероятностного моделирования, долгосрочное прогнозирование, состояние системы, объем перевозок, внешняя среда, вероятности перехода элементов системы, весовые коэффициенты.

**ABSTRACT**

**Sanko Ya. V. The long-term prognostication of tram passenger transportation considering the external environmental impact (on the example of KhME "Miskelektrotrans"). - The manuscript.**

The dissertation for a scientific degree of the candidate of engineering sciences in speciality 05.22.01 – transportation systems; Kharkiv national academy of municipal economy, Kharkiv, 2010.

Dissertation is devoted to the development of the scientific bases of the environmental influence on the prognosticated volumes of tram passenger transportation. To accomplish this task: the scientific approaches to the system state determination and the prognostication of passenger transportation considering have been analyzed; the mathematical model of component parameters transition probability determination on the urban passenger transport system from the initial to the final state in the enclosed position under the influence of external environmental changes has been elaborated; the assessment of the model relevance has been carried out; the weight index of the system elements on the basis of the expert evaluation has been defined; the obtained results have allowed to get the adequate value of the component parameters transition probability on the urban passenger transport system from the initial to the final state; the influence of the external changes functions and the weight index on the system components of the tram passenger transportation volume has been investigated; the prognostication of the tram passenger transportation volume has been worked out.

**Keywords:** the probabilistic evolutionary modeling method, long-term prognostication, system state, the volume of passenger transportation, the environment, the probability of system components transition, weight indexes.

**Санько Ярослав Володимирович**

Довгострокове прогнозування обсягів перевезень пасажирів  
трамваєм з урахуванням впливу зовнішнього середовища  
(на прикладі ХКП “Міськелектротранс”)

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск *Ю.О. Давідіч*

Формат 60x84 /16. Ум. друк. арк. 0,9  
Друк на ризографі. Тираж 100 пр. Зам. № 6243

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 731 від 19.12.2001